

Studi & Ricerche

STUDIES & RESEARCH

M. Lanzetta, G. Tantussi, S. Gentile

Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione - Università di Pisa*

Il Glossmetro presenta severe limitazioni su materiali traslucidi

The Glossmeter is severely limited on translucent materials

La Riflettanza è un attributo oggettivo della qualità in lucidatura

Reflectance is an objective attribute of quality in polishing

Il Riflettometro proposto correla rugosità e lucentezza

The proposed Reflectometer correlates roughness and shininess

Sviluppo di un Riflettometro per il controllo della lucidatura di materiali lapidei

Developing a Reflectometer to control polishing on stone materials

Il processo di lucidatura dei materiali in roccia naturale è ampiamente impiegato sulle lastre usate per rivestire interni ed esterni delle costruzioni edilizie, poiché conferisce apprezzate caratteristiche di luminosità e pregio. Nella pratica generale, la lucidatura delle pietre comincia con la rettifica delle superfici, con decremento della dimensione dei grani degli abrasivi in ordine successivo, ed è completata con l'applicazione di alcuni prodotti chimici sulle superfici levigate per migliorare le caratteristiche di luminosità. Alcune rocce possono essere lucidate quasi perfettamente, in funzione del tipo di minerale, del formato e della densità dei cristalli, della direzione di taglio rispetto alla cristallizzazione e del riempimento delle micro/macro discontinuità. Di conseguenza il controllo di efficacia del processo di lucidatura è un requisito importante. Il controllo viene eseguito solitamente off-line, a conclusione del processo, ma sarebbe opportuno che fosse effettuato on-line, seguendo il processo passo dopo passo, in modo da intervenire non appena venissero rilevate anomalie.

Il livello di qualità delle caratteristiche delle superfici lucidate è identificato generalmente dal valore di Gloss misurato da

The process of polishing materials made from natural rock is widely employed on slabs used for external and internal building revetments because it confers characteristics of luminosity and worth. In general practice, stone polishing commences by grinding the surfaces, sequentially decreasing abrasive grain size, and is completed by applying a number of chemical products to the smoothed surfaces to improve their shine. Some rocks can take an almost perfect polish, depending on the type of minerals they contain, the format and density of their crystals, cutting direction with respect to crystallization and the fill-in of any micro/macro discontinuities. As a consequence, controlling the efficacy of the polishing process is an important requisite. Inspections are usually made off-line, at the end of the process, but it would be best for them to be done on-line, following the process step by step in order to be able to intervene as soon as anomalies appear.

The quality level of the characteristics of the polished surface is generally identified as the degree of glossiness,



uno strumento fotoelettrico specifico, il Glossmetro. Il Gloss è una caratteristica ottica che consente di valutare la capacità di una superficie di riflettere la luce diretta. Il rapido progresso dello sviluppo dei componenti optoelettronici e la disponibilità di un forte aumento di potenza computazionale ha consentito lo sviluppo di nuovi approcci, sempre meno dispendiosi, per l'analisi fotometrica [2, 3]. Una sfida nello studio di manufatti in pietra consiste nell'individuazione di una metodologia che consenta di effettuare Controlli di Qualità e del Processo di Lucidatura per l'individuazione delle caratteristiche superficiali dei semi-lavorati e dei prodotti finiti con tecniche fotometriche non invasive. In questo articolo vengono presentate le basi teoriche e le linee guida per lo sviluppo di un Riflettometro innovativo (brevettato [1]) disponibile per essere impiegato su impianti di lucidatura.

Cenni teorici: la riflessione

La lucentezza è un attributo dell'apparenza visiva che proviene dalla distribuzione geometrica della luce riflessa dalla superficie [4-6]. Nella pratica, la luce incidente su una superficie riflettente subisce non solo l'effetto di *riflessione*¹, ma anche quelli di *diffusione*², *trasmissione*³ e *assorbimento*⁴. L'energia della radiazione incidente su di una determinata superficie può dunque essere assorbita, riflessa o trasmessa (figura 1):

$$I_t = I_r + I_a + I_{tr} \quad \text{con } I_r = I_s^5 + I_d^6$$

Dato un intervallo dello spettro, si definiscono Assorbanza, Riflettanza e Trasmissanza spettrale i valori di queste energie per unità di lunghezza d'onda su quell'intervallo, riferiti all'energia dell'onda incidente. In altre parole, la riflessione è la differenza tra quanto incide e quanto viene assorbito o trasmesso.

measured by a specific photoelectric instrument, the Glossmeter.

Gloss is an optical feature making it possible to evaluate a surface's ability to reflect direct light.

Rapid progress in the development of optoelectronic components and a great increase in computation power has made it possible to develop new approaches, increasingly inexpensive, to photometric analysis [2, 3]. One challenge in studying stone products consists of finding a methodology making it possible to control the quality of the polishing process in order to individuate the surface characteristics of semi-finished and finished products with non-invasive photometric techniques. This article presents the theoretical bases and guidelines for developing an innovative (patented [1]) Reflectometer ready for use on polishing lines.

Theoretical notes: reflection

Shininess is an attribute of visual appearance that stems from the geometrical distribution of the light reflected by a surface [4-6]. In practice, light incident on a reflecting surface is not only reflected¹ but also diffused², transmitted³ and absorbed⁴.

The energy of radiation incident on a given surface can therefore be absorbed, reflected or transmitted (figure 1):

$$I_t = I_r + I_a + I_{tr} \quad \text{with } I_r = I_s^5 + I_d^6$$

Given a spectrum range, defined as spectral Absorbance, Reflectance and Transmittance are the amounts of these energies per unit of wavelength on that range, referred to the energy of the incident wave. In other words, reflection is the difference between how much is incident and how much is absorbed or transmitted.

Studi & Ricerche

STUDIES & RESEARCH



Fig. 1. Diffusione Lambertiana, diffusione mista, diffusione anisotropa.

Lambertian diffusion, mixed diffusion, anisotropic diffusion.

La riflessione, essendo dovuta a interazioni microscopiche tra l'onda incidente e il materiale illuminato, in generale avverrà con modalità diverse a seconda della lunghezza dell'onda stessa. La Riflettanza, quindi, dipenderà dalla lunghezza d'onda della radiazione incidente.

La Formula di *Fresnel* [7] restituisce il valore di Riflettanza (speculare) come il rapporto tra la componente di luce riflessa e luce incidente su una superficie perfettamente liscia:

$$R_s(\theta, n) = \frac{I_s}{I_t}$$

con θ = angolo di incidenza, n = indice di rifrazione, I_s = intensità di luce riflessa speculare, I_t = intensità di luce totale incidente.

Le superfici reali non sono perfettamente lisce, e al crescere della rugosità superficiale, la componente diffusa della luce riflessa aumenta rispetto alla componente speculare e – tenendo conto dell'influenza del materiale ($n(\lambda)$), dell'incidenza (θ) e intensità della luce (I_t), dello stato di rugosità del materiale (m, p) – il rapporto tra la componente effettiva di luce speculare riflessa (I) e il fascio di luce incidente è:

$$I/I_t = R_s(\theta, n) \cdot e^{-\left[\left(\frac{\cos(\theta)}{m}\right)^p\right]} \quad \text{Eq. (1)}$$

Definizione del Gloss e normative vigenti

Il Gloss (lucentezza) è una proprietà ottica, basata sull'interazione della luce con le caratteristiche fisiche di una superficie, che indica la capacità di una superficie di riflettere la luce in direzione speculare.

La misura del Gloss si basa sul fenomeno di riflessione speculare di una superficie illuminata da un fascio luminoso con angolo d'incidenza prefissato. Il range di misura viene espresso in unità GU (*Gloss Unit*) ed è compreso tra 0 e 100. Il Gloss speculare corrisponde alla Riflettanza della superficie a meno di un coefficiente che varia a seconda dello standard di calibrazione [7].

Gli standard identificativi per la misurazione del Gloss speculare di superfici non metalliche sono contenuti principalmente nelle normative:

- (ASTM) D 523 "Standard Test Method for Specular Gloss";
- (ISO) 2813 "Paint and Varnishes – Measurements of Specular Gloss of Non-Metallic Paint Films at 20, 60 and 85°";
- UNI EN 14617-16 "Agglomerated Stone – Test Methods – Determination of dimensions, geometric characteristics and surface quality of modular tiles".

Since it is caused by microscopic interactions between the incident wave and the illuminated material, reflection will generally occur in different ways depending on the length of the wave itself. And so reflectance will depend on the wavelength of the incident radiation.

Fresnel's formula [7] gives the degree of (specular) reflectance as a ratio between the components of reflected and incident light on a perfectly smooth surface:

$$R_s(\theta, n) = \frac{I_s}{I_t}$$

with θ = angle of incidence, n = refraction index, I_s = intensity of specular reflected light, I_t = intensity of total incident light.

Real surfaces are not perfectly smooth and the rougher they are the more the diffused component of the reflected light will increase with respect to the specular component and – taking into account the influence of the material ($n(\lambda)$), of the incidence (θ) and intensity (I_t) of the light, of the degree of roughness of the material (m, p) – the ratio between the effective component of specular reflected light (I) and band of incident light is:

$$I/I_t = R_s(\theta, n) \cdot e^{-\left[\left(\frac{\cos(\theta)}{m}\right)^p\right]} \quad \text{Eq. (1)}$$

Gloss definition and the current standard

Gloss (shininess) is an optical property based on light's interaction with the physical characteristics of a surface, indicating a surface's ability to reflect light in the specular direction.

Measuring gloss is based on the specular reflection phenomenon of a surface illuminated by a beam of light with a preset angle of incidence. The measurement range is expressed in GU (*Gloss Units*) and runs from 0 to 100.

Specular gloss corresponds to surface reflectance except for a coefficient that varies according to the calibration standard [7].

Identifying standards for measuring specular gloss on non-metallic surfaces are principally contained in the following standards:

- (ASTM) D 523 "Standard Test Method for Specular Gloss";
- (ISO) 2813 "Paint and Varnishes – Measurements of Specular Gloss of Non-Metallic Paint Films at 20, 60 and 85°";
- UNI EN 14617-16 "Agglomerated Stone – Test Methods – Determination of dimensions, geometric characteristics and surface quality of modular tiles".

Studi & Ricerche

STUDIES & RESEARCH

Strumentazione attualmente adoperata in campo industriale: il Glossmetro

Le industrie che lavorano le pietre naturali utilizzano uno strumento specifico, il Glossmetro, per classificare il grado di lucentezza dei manufatti lucidati secondo le normative vigenti. Il Glossmetro (figure 2 e 3) è un apparecchio portatile che proietta una luce bianca non polarizzata sulla superficie campione, ad un prefissato angolo di incidenza, e misura la luce riflessa con un sensore posto in posizione speculare rispetto alla fonte luminosa. I comuni angoli di incidenza per la misura del Gloss sono 20°, 60° e 85°. Superfici poco lucenti vengono misurate ad 85°.

Il Glossmetro è principalmente impiegato per la misura di lucentezza di vernici, carta, metalli, plastica e ceramica. Il fine per cui lo strumento è stato progettato non consente la realizzazione di specifiche analisi per la caratterizzazione delle superfici di manufatti in roccia lucidata. In particolare:

- non esistono standard per l'impiego del Glossmetro sulle rocce lavorate;
- gli angoli caratteristici di analisi sono ben definiti e specifici solo per misure su alcuni tipi di superfici e materiali;
- è necessario l'utilizzo di più angoli d'incidenza per l'analisi di stati superficiali differenti; questa caratteristica non consente di identificare un'unica scala per la definizione della lucentezza;
- la fonte luminosa ha caratteristiche non modificabili;
- non è prevista l'analisi di superfici parzialmente trasparenti che diffondono internamente parte della luce incidente. Questo effetto, caratteristico di molti tipi di rocce lucidate, crea una componente di luce diffusa che altera la misura del Gloss che deve fare riferimento solo alla componente di luce riflessa speculare.

Inoltre, i Glossmetri hanno generalmente un campo di misura molto ristretto, per cui sono impiegabili solo sul prodotto finale lucidato.

Per l'analisi di brillantezza delle superfici, i comuni Glossmetri commerciali risultano essere pratici nell'utilizzo. Inoltre, alcuni di essi sono dotati di memoria per effettuare serie di misurazioni e statistiche. Però, fatta eccezione per rocce a bassa diffusione/dispersione interna di luce, come alcuni graniti, il Glossmetro effettua misurazioni con basso grado di ripetibilità, a causa della trasparenza anisotropa

Instruments currently used in the industrial field: the glossmeter

Industries working natural stones use a specific instrument, the glossmeter, to classify the degree of shininess of the polished products as per current standards.

The glossmeter (figures 2 and 3) is a portable device that casts a white, non-polarized light on the sample surface at a preset angle of incidence and measures the reflected light with a sensor placed in a position specular to the light source. The common angles of incidence for measuring gloss are 20°, 60° and 85°. Not very shiny surfaces are measured at 85°.

The glossmeter is primarily used to measure the shininess of paints, paper, metals, plastic and ceramics.

The purpose for which the instrument was designed does not allow for specific analyses characterizing the surfaces of polished stone products. In detail:

- there are no standards for using the glossmeter on worked rocks;
- the angles characteristic of analysis are well defined and specific solely for measuring some types of surfaces and materials;
- several angles of incidence have to be used to analyze different surface conditions; this prevents identification of a single scale for defining gloss;
- the light source's characteristics cannot be modified;
- the analysis of partially transparent surfaces internally diffusing part of the incident light is not foreseen. This internal diffusion effect, a feature of many types of polished rock, creates a component of diffused light that alters gloss measurement, which should refer solely to the component of specular reflected light.

Furthermore, glossmeters generally have a very narrow measurement field and hence can be used only on the polished final product.

To analyze surface brilliancy the common glossmeters on the market are practical to use. In addition, some can be equipped with memory to create sets of measurements and statistics. However, except for rocks with low internal diffusion/dispersion of light, such as a number of granites, the glossmeter takes measurements with a low degree of repeatability due to the anisotropic transparency that



Fig. 2. Glossmetro commerciale da laboratorio.
Commercial workshop glossmeter.



Fig. 3. Glossmetro commerciale portatile.
Portable commercial glossmeter.

Studi & Ricerche

STUDIES & RESEARCH

che caratterizza lo strato più superficiale dei lapidei lucidati, e commette anche errori di misurazione per lapidei ad elevata trasparenza superficiale (es. marmo di Carrara). Inoltre non è possibile identificare una scala unica in GU, poiché è necessario effettuare le misurazioni a piccoli angoli d'incidenza (20°) per superfici molto lucide ($Ra < 0,1 \mu m$), mentre per superfici poco riflettenti ($Ra > 0,8 \mu m$) è d'obbligo l'utilizzo di grandi angoli (85°).

Dispositivo sviluppato

Per la realizzazione di uno strumento appropriato agli scopi, cioè basato sull'analisi della sola componente di luce riflessa, è stata inizialmente progettata e realizzata una apparecchiatura da laboratorio, il "Riflettometro", che permette di variare la lunghezza d'onda della luce incidente e l'angolo di incidenza. È stato così possibile analizzare le condizioni che permettono una migliore valutazione delle caratteristiche superficiali dei campioni di mattonelle lucidate in varie tipologie di rocce naturali (marmi, graniti, brecce e coreni), estendendo anche il campo di finiture superficiali rilevabili con uno strumento che risponda alle specifiche determinate in base ai risultati ottenuti con il prototipo.

Le prove sono state eseguite in ambiente controllato: il Riflettometro (figura 4) è stato posizionato all'interno di un'apposita struttura per minimizzare il più possibile l'influenza della luce esterna. Il photo-detector, per la ricezione della luce riflessa dal campione, è un sensore matriciale ed è corredato di specifico software per l'acquisizione ed elaborazione dei dati.

Il Riflettometro è stato realizzato con gli stessi principi di base del Glossmetro, ma con tutti gli accorgimenti necessari per estrapolare dal fascio riflesso solo la componente di luce speculare, con il più ampio range di lunghezze d'onda, angoli d'incidenza e potenza di alimentazione del fascio luminoso.

La composizione eterogenea di alcune rocce, come i graniti, fa sì che l'operazione di lucidatura dia origine a una finitura di tipo "Plateau" (figura 5) con superfici prive di creste, ma con valli molto pronunciate. Alcune rocce, come il marmo di Carrara, sono invece più omogenee con profili a distribuzione delle altezze di tipo "Gaussiano".

Questo aspetto comporta un sostanziale errore nella

characterizes the most superficial layers of polished rocks, and also commits measurement errors on rocks whose surfaces are very transparent (such as Carrara marble). Moreover, a single GU scale cannot be identified because it is necessary to take measurements at narrow angles of incidence (20°) on very shiny surfaces ($Ra < 0,1 \mu m$), while for fairly non-reflecting surfaces ($Ra > 0,8 \mu m$) it is obligatory to use wide angles (85°).

The device developed

To create an instrument appropriate to the purpose, that is, based solely on analysis of the reflected light component, what was initially designed and built was a piece of laboratory equipment, a "reflectometer" that makes it possible to vary the wavelength of incident light and the angle of incidence. It was thus possible to analyze the conditions permitting better evaluation of the surface characteristics of samples of polished tiles made from various kinds of natural rocks (marbles, granites, breccias and corenos) as well as extend the range of surface finishes that can be inspected by an instrument responding to specifications determined on the basis of the results gotten with the prototype.

The tests were done in a controlled environment: the reflectometer (figure 4) was placed inside a special structure in order to minimize the influence of external light as much as possible. The photo-detector used to receive the light reflected by the specimen is a matrix-based sensor equipped with specific software for data acquisition and processing.

The reflectometer was created using the same basic principle as the glossmeter but taking all the steps necessary to extrapolate from the reflected beam only the specular light component, with the widest range of wavelengths, angles of incidence and input power of the ray of light.

Due to the heterogeneous composition of certain rocks like granites the polishing process creates a finish of the "plateau" type (figure 5), with surfaces devoid of peaks yet having very deep valleys. Some rocks, such as Carrara marble, are instead more homogeneous, with profiles of height distribution of the "Gaussian" type.

This aspect leads to substantial error in inspecting sample topography with contact measurers when using the classic parameters of roughness like Ra , Rq , Rz , Rt and the like (for example, a perfectly polished granite may assume Ra values superior to $3 \mu m$).

For natural rocks it is necessary to take the so-called "hybrid parameters" as reference. The reference parameter for these tests is Rk (Core Roughness Depth) [9], which is fairly uninfluenced by very pronounced valleys (or peaks).

Analysis and test results

In analyzing the test results calculation was made of the coefficients appearing in theoretical formulation through use of the non-linear regression technique:

$$m = \lambda/2\pi \cdot Rk \quad p = 2 \text{ (Gaussian distribution)}$$

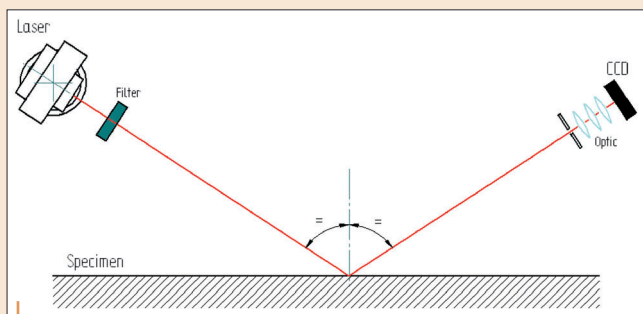


Fig. 4. Schema del Riflettometro sperimentale.
Scheme of the experimental reflectometer.

Studi & Ricerche

STUDIES & RESEARCH

rilevazione della topografia del campione con misuratori a contatto, se vengono utilizzati i classici parametri di rugosità come Ra, Rq, Rz, Rt e similari (ad es. un granito, perfettamente lucidato a specchio, può assumere valori di Ra superiori ai 3 µm).

Per le rocce naturali è necessario prendere come riferimento i cosiddetti "parametri ibridi". Il parametro di riferimento per questa analisi è l'Rk (Core Roughness Depth) [9], il quale è poco influenzato dalle valli (o creste) molto pronunciate.

Analisi e risultati sperimentali

In fase di analisi dei dati sperimentali sono stati calcolati i coefficienti che compaiono nella formulazione teorica mediante la tecnica di regressione non lineare:

$$m = \lambda/2\pi \cdot Rk \quad p = 2 \text{ (Distribuzione Gaussiana)}$$

In definitiva, l'Eq. (1) diventa:

$$I/I_t = \exp \left[- \left[\frac{(2 \cdot \pi \cdot Rk \cdot \cos(\theta))^2}{\lambda} \right] \right] \quad \text{Eq. (2)}$$

In figura 6 è rappresentata chiaramente la buona correlazione tra i dati sperimentali e la curva teorica espressa dall'Eq. (2). Ogni punto del grafico corrisponde ad uno dei ventuno campioni presi in esame.

L'andamento della curva teorico-sperimentale $I/I_t = f(\lambda, \theta)$ può essere approssimato con una funzione lineare per valori di Rk tipici dei materiali lucidati (< 0.8 µm).

Dai dati sperimentali risulta:

$$\frac{I}{I_t} = 1.04 - \frac{3.5 \cos \theta}{\lambda} \cdot Rk$$

I dati acquisiti e la teoria hanno dimostrato come il coefficiente di rifrazione abbia una minore influenza sui valori di intensità di luce speculare riflessa per angoli di incidenza elevati. Questo fenomeno è molto importante al fine di identificare una specifica configurazione dello strumento (λ, θ) che possa eseguire le analisi su vari tipi di materiali lapidei, con differenti coefficienti di rifrazione⁷. In generale, $n(\lambda)$ può assumere valori compresi tra 1.6 e 2. Secondo la regola comune, l'angolo d'incidenza del fascio luminoso dev'essere tanto più piccolo quanto più è elevata la capacità di riflessione delle superfici di analisi. Per le pietre naturali lucidate, misurazioni effettuate con piccoli angoli di incidenza comportano l'eccessivo aumento di luce diffusa a causa della trasparenza dei primi strati e, di conseguenza, la riduzione della componente riflessa speculare.

Sulla base dei dati sperimentali ottenuti e degli studi effettuati, i parametri operativi, che consentono l'analisi ottimale dello stato superficiale delle rocce naturali lucidate, sono risultati essere i seguenti:

- potenza di alimentazione del diodo laser: P = 5-10 mW;
- lunghezza d'onda del fascio luminoso: $\lambda > 1300$ nm;
- angolo di incidenza del fascio luminoso: $\theta > 60^\circ$.

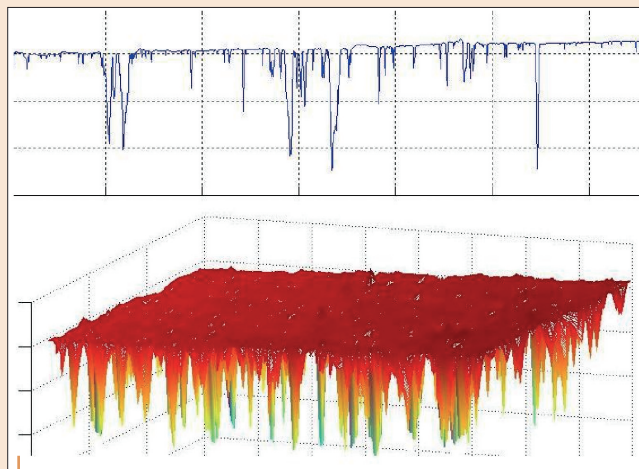


Fig. 5. Rappresentazione 2D e 3D di una comune superficie a Plateau di un granito.
2D and 3D depictions of a common plateau surface on a granite.

In the end, the equation (1) becomes:

$$I/I_t = \exp \left[- \left[\frac{(2 \cdot \pi \cdot Rk \cdot \cos(\theta))^2}{\lambda} \right] \right] \quad \text{Eq. (2)}$$

Figure 6 clearly shows a good correlation between the test data and the theoretical curve expressed by equation 2. Every point on the graph corresponds to one of the twenty-one samples tested.

The course of the theoretical-experimental curve $I/I_t = f(\lambda, \theta)$ can be approximated with a linear function for Rk values typical of polished materials (< 0.8 µm).

Test results showed that:

$$\frac{I}{I_t} = 1.04 - \frac{3.5 \cos \theta}{\lambda} \cdot Rk$$

The acquired data and the theory demonstrated how the refraction coefficient has less influence on the amount of intensity of specular reflected light when angles of incidence are high. This phenomenon is very important for the purpose of identifying a specific configuration of the instrument (λ, θ) that can run tests on various types of stone materials, with different refraction coefficients⁷. In general $n(\lambda)$ can take on values between 1.6 and 2.

According to the common rule, the light beam's angle of incidence should be smaller the higher the test surface's ability to reflect. For polished natural stones, the measurements taken with small angles of incidence lead to an excessive increase in diffused light due to the transparency of the initial strata and, consequently, to a reduction of the specular reflected component.

On the basis of the test data obtained and the studies conducted, work parameters – which make it possible to optimally analyze the surface state of polished natural rocks – proved to be the following:

Studi & Ricerche

STUDIES & RESEARCH

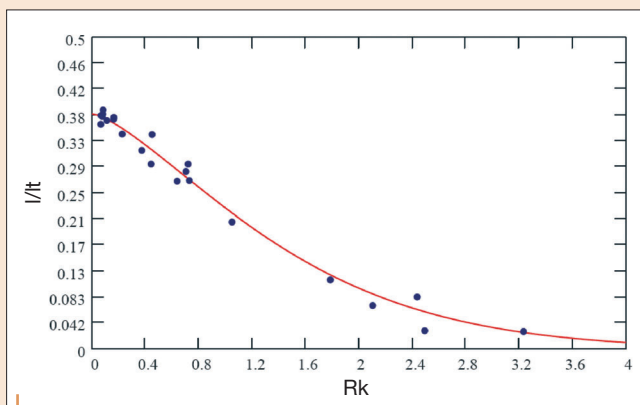


Fig. 6. I punti blu rappresentano i valori sperimentali di intensità di luce riflessa speculare, rilevati dal photo-detector, in correlazione del parametro R_k , misurato con il rugosimetro a contatto, che identifica lo stato di finitura superficiale. La curva rappresenta l'andamento teorico rilevato con l'Eq. (2) per $\lambda = 1550$ nm, $\theta = 80^\circ$, $n(\lambda) = 1.8$ e $It = 24$.

The blue points show the test values of the intensity of specular reflected light detected by the photo-detector, in correlation to the R_k parameter measured with the contact roughmeter that identifies the surface finish state. The curve depicts the theoretical course detected with equation 2 for per $\lambda = 1550$ nm, $\theta = 80^\circ$, $n(\lambda) = 1.8$ e $It = 24$.

Conclusioni e possibili impieghi del Riflettometro

I risultati sin qui ottenuti hanno rilevato l'incompatibilità oggettiva dell'utilizzo del Glossmetro per un'analisi accurata dello stato superficiale delle superfici in materiale lapideo lucidate e non. L'imprecisione dei risultati è dovuta principalmente all'incapacità dello strumento di isolare unicamente la luce riflessa dalla superficie, recependo invece sul sensore molta della luce diffusa dai prodotti lapidei lucidati a causa del fenomeno di rifrazione all'interno del materiale stesso.

Il Riflettometro realizzato in diversi prototipi sperimentali e brevettato [1] consente la misurazione senza contatto della qualità superficiale dei manufatti in rocce naturali attraverso la correlazione con le caratteristiche di rugosità oggettive e tipiche di lastre e piastrelle lucidate. Inoltre, la misura oggettiva e quantitativa della grandezza "Riflettanza" esprime ancora meglio del grado di finitura la qualità estetica di un manufatto lucidato.

L'applicazione industriale del Riflettometro può risultare efficace per:

- Controllo di Qualità off-line di manufatti, in fase di finitura, con strumenti portatili o su postazioni fisse dedicate;
- Controllo del Processo di lucidatura on-line;
- classificazione automatica dei prodotti in funzione della qualità superficiale.

Gli strumenti portatili (figura 7) possono avere la stessa praticità e velocità di applicazione dei Glossmetri, ma la configurazione deve essere tale da consentire l'analisi corretta per i lapidei lucidati. Le misurazioni, eseguite con buona precisione e ripetitività, e le statistiche possono essere visualizzate direttamente sul display dello

- diode laser input power: $P = 5-10$ mW;
- light beam wavelength: $\lambda > 1300$ nm;
- Light beam angle of incidence: $\theta > 60^\circ$.

Conclusions and possible uses for the reflectometer

The results obtained to date have shown the objective incompatibility of using the glossmeter for accurately analyzing the surface conditions of polished and non-polished stone materials. The imprecision of glossmeter results is mainly due to the instrument's inability to isolate only the light reflected on the surface, instead accepting on the sensor much of the light diffused by polished products because of the refraction phenomenon inside the material itself.

The reflectometer created in different experimental prototypes and patented [1] makes it possible to measure without contact the surface quality of products in natural rocks through correlation with roughness characteristics that are objective and typical of polished slabs and tiles. In addition, the objective and quantitative measurement of degrees of "reflectance" expresses even better than the degree of finish the aesthetic quality of a polished product.

Industrial application of the reflectometer can be effective in:

- off-line quality control on products, in the finishing stage, with instruments that are portable or on dedicated work stations;
- on-line control of the polishing process;
- automatically sorting products on the basis of surface quality.

Portable instruments (figure 7) can be as practical and work as fast as glossmeters, but must be configured to permit correct testing on polished stones.

Measurements, taken with good precision and repeatability, and statistics can be visualized directly on the instrument's display or transferred to a digital file through hook-up to a computer.

Should very accurate testing of polished products be required, an ad hoc work station (figure 8) for surface quality control can guarantee the maximum reliability of measurement through highly repeatable automated systems.

A controlled-axes system, mounted on a sufficiently rigid structure, ensures precise and programmable movement of the instrument while the sample rests on fixed references.

Maximum flexibility is attained through the on-line positioning (figure 9) of reflectometers for direct analyses of the surfaces that have just been polished. In addition to quality control and instant product cataloguing, this system also controls the process and immediately signals any anomalies on the polishing line. With due precautions and setups, the instruments can be positioned in parallel immediately following the last stage of polishing or in intermediate process stages.

Evaluations can be made on a statistical basis (by sampling) or on 100% of the entire surface polished.

Studi & Ricerche

STUDIES & RESEARCH

strumento, oppure trasferite a un file digitale attraverso la connessione ad un calcolatore.

Nel caso sia richiesta un'analisi molto accurata dei prodotti lucidati, una postazione (figura 8) ad-hoc per il Controllo di Qualità delle superfici può garantire la massima affidabilità della misurazione con sistemi automatici e ad elevata ripetibilità. Un sistema ad assi controllati, posizionato su adeguata struttura rigida, garantisce lo spostamento preciso e programmabile della strumentazione, mentre il campione è poggiato su riferimenti fissi.

La massima flessibilità è raggiunta con il posizionamento on-line (figura 9) di Riflettometri per l'analisi diretta delle superfici appena lucidate. Questo sistema può garantire, oltre al Controllo di Qualità e alla catalogazione istantanea dei prodotti, il Controllo di Processo e l'immediata segnalazione di anomalie presenti sulla linea di lucidatura. Con le dovute precauzioni e settaggi, gli strumenti possono essere posizionati in parallelo immediatamente dopo l'ultima fase di lucidatura o in fasi intermedie del processo. La valutazione può essere effettuata su base statistica (a campione) o al 100% sull'intera superficie lavorata.

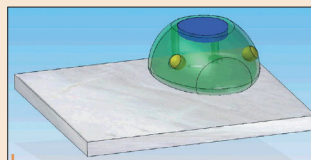


Fig. 7. Sistema portatile.
Portable system.

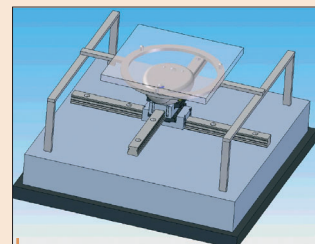


Fig. 8. Postazione fissa.
Preset work station.

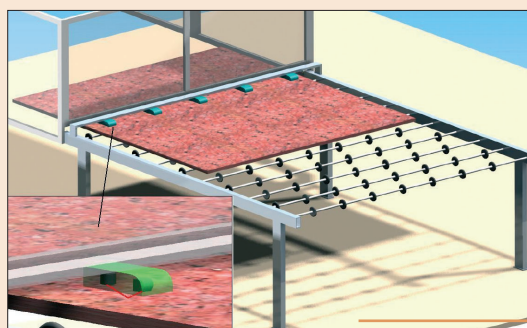


Fig. 9.
Sistema per
il controllo
del processo
di lucidatura
on-line.
System for
on-line
control of the
polishing
process.

Note

* lanzetta@unipi.it, tantussi@ing.unipi.it, g.santo@ing.unipi.it

1. La riflessione è un processo coerente; ciò significa che la radiazione riflessa mantiene molte delle informazioni e delle proprietà della radiazione incidente.
2. La presenza di particelle e di disomogeneità sulla superficie e all'interno del materiale fa sì che i raggi di luce che li attraversano vengano diffusi. A seconda delle caratteristiche delle disomogeneità la diffusione può anche essere selettiva rispetto alla lunghezza d'onda.
3. La radiazione che non è diffusa, né riflessa né assorbita, è trasmessa.
4. Nel caso in cui la radiazione venga assorbita e riemessa ad un'altra lunghezza d'onda.
5. Componente riflessa speculare.
6. Componente riflessa diffusa.
7. Le pietre naturali non hanno un coefficiente di rifrazione ben definito a causa delle numerose componenti che le caratterizzano.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato co-finanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) e dall'Università di Pisa come Progetto di Ricerca Scientifica di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN, 2004). L'attività di brevettazione del Riflettometro [1] è stata co-finanziata dall'Università di Pisa.

Questa relazione è stata presentata al Convegno Tra.S.L.A 2006 [10] e Aitem 2007 [11].

Notes

* Department of Mechanical, Nuclear and Production Engineering - University of Pisa

lanzetta@unipi.it, tantussi@ing.unipi.it, g.santo@ing.unipi.it

1. Reflection is a coherent process, meaning that reflected radiation retains much of the information and properties of incident radiation.
2. The presence of particles and non-homogeneous areas on the surface and inside the material leads to the diffusion of the beams of light crossing it. Depending on the characteristics of the non-homogeneity, diffusion can also be selective with respect to wavelength.
3. Non-diffused radiation neither reflects nor absorbs but is transmitted.
4. When radiation is absorbed it is re-emitted by another wavelength.
5. Specular reflected component.
6. Diffused reflected component.
7. Natural stones lack a well-defined refraction coefficient due to their numerous components.

Acknowledgements

This work was co-financed by the Ministry of Education, Universities and Research (MIUR) and by Pisa University as a Scientific Research Project of Important National Interest (PRIN, 2004).

Patenting the reflectometer [1] was co-financed by Pisa University.

This paper was presented at the Tra.S.L.A. Conference 2006 [10] and Aitem 2007 [11].

Bibliografia / Bibliography

- [1] M. Lanzetta, G. Tantussi, S. Gentile, *Metodo e dispositivo optoelettronico per una valutazione quantitativa di qualità di una superficie*, brevetto n. PI/2007/A/000105, 10 settembre, 2007.
- [2] H. Schwenke, U. Neuschaefer-Rube, T. Pfeifer, H. Kunzmann, *Optical Methods for Dimensional Metrology in Production Engineering*, Annals of the CIRP 51/2/2002, pp. 685-699.
- [3] P. M. Lönardo, D. A. Lucca, L. De Chiffre, *Emerging Trends in Surface Metrology*, Annals of the CIRP 51/2/2002, pp. 701-723.
- [4] Gael Obein, Kenneth Knoblaugh, Françoise Vienot, *Difference scaling of gloss: Nonlinearity, binocularity, and constancy*, Journal of Vision vol. 4, 2004, pp 711-720.
- [5] Zbigniew Otrębka, *Modelling the bidirectional reflectance distribution function (BRDF) of seawater polluted by an oil film*, Optics Express vol. 12 n. 8, 2004, pp. 1671-1676.
- [6] D. Rod White, Peter Saunders, Stuart J. Bonsey, John van de Ven, Hamish Edgar, *Reflectometer for measuring the bidirectional reflectance of rough surfaces*, Applied Optics vol. 37, n. 16, 1998, pp. 3450-3454.
- [7] Maria E. Nadal, E. Ambler Thompson, *NIST Reference Goniophotometer for Specular Gloss Measurements*, Optical Technology Div. Vol. 73, n. 917, 2001, pp. 73-80.
- [8] M. Born, E. Wolf, *Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation Interference and Diffraction of Light*, 7th ed. Cambridge, England: Cambridge University Press, 1999, pp. 95.
- [9] Leigh Mummery B. Eng., *Surface Texture Analysis: The Handbook*, Hommelwerke GmbH, 1990, pp.40-43.
- [10] G. Tantussi, *Sviluppo di glossmetri ottimizzati per l'impiego su materiali lapidei*, Progetto Tra.S.L.A. - Rete di valutazione per il TRAsferimento tecnologico nel Settore Lapidario Apuano, Atti del Convegno "La ricerca per le Apuane", Carrara, 7 e 8 luglio e 15 settembre 2006 [Developing glossmeters optimized for use on stone materials. Tra.S.L.A. project - Assessment network of technological transfer in the Apuan stone sector, minutes of the "Research for the Apuan Alps" conference, Carrara, July 7 and 8 and September 15], pp. 37-38, <http://www.trasla.immcarrara.com>.
- [11] G. Tantussi, M. Lanzetta, *Analyses of stone surfaces by optical methods*, A.I.Te.M 2007, Proceedings of the 8th Conference of the Italian Association of Mechanical Technology, Montecatini (PT), Italy, September 10th -12th, 2007, Ed. Del Taglia A., Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali, Università degli Studi di Firenze, Pub.: Centro Editoriale Toscano, Firenze, Italy, ISBN: 88-7957-264-4, pp. 97 (29).